4. コンポスト化技術の基本理論-重要項目

ここでは微生物の働きを利用したコンポスト化の仕組みについて説明します。

コンポスト化のためには、微生物が活動しやすい環境を整える必要があり、「酸素」「水分」 「温度」「pH」「C/N(炭素・窒素比)」「通気量」「切り返し頻度」「原料の形状(大きさ)」「空 隙率」「容積重量(比重)」「発酵工程」など多数の項目があります。

コンポスト化に取り組むうえで、「悪臭の発生を抑える」「できるだけ短期間に製造する」ことは最重要事項です。コンポスト化を腐敗することなくスムーズに発酵することに特化すると、上記にあげた項目全てを同様に管理する必要はありません。「微生物」「酸素」「水分」の3点の項目に絞りこむことができます。

まずは、この3点を中心に説明します。

4.1 微生物について

4.1.1 コンポスト化は大きく3段階に分かれる

有機物の分解の程度と発酵熱の発生で判断すると、前述のように「一次発酵」と「二次発酵(熟成)」に分けることが一般的です。これに対し、微生物の変遷から考えるとコンポスト化は大きく3段階に分けることができます。生ごみを対象としたコンポスト化の様子を図に示します。バッチ式*1の場合は時間の経過とともに第1段階 → 第2段階 → 第3段階へと移り変わり、まるで微生物がリレーするようにコンポスト化が進行します。連続投入式*2の場合は、コンポスト内で第1~第3段階が場所を変えて同時進行していると考えて下さい。

図に示すように、各段階で分解対象となる成分と活動する微生物の種類も既に分かっています。 そして、微生物は段階に応じて優占種が変遷すると考えると、コンポスト化に必要な微生物を前 もって取り揃えておくことで、微生物の変遷を容易にする、すなわちコンポスト化がスムーズに 進行するように誘導すると考えることができます。

コンポスト化は好気性発酵を基本としているので、好気性微生物*3と通性嫌気性微生物*4を利用することになります。ただし、第2段階の繊維質分解期では偏性嫌気性微生物*5も活躍します。

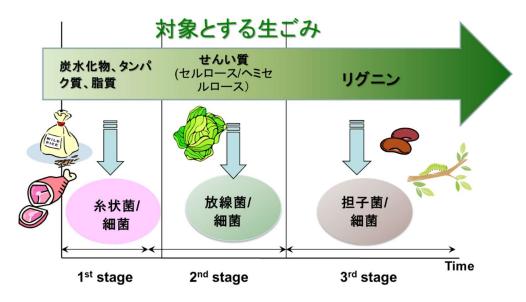


図 4-1 コンポスト化と微生物の変遷

- ※1 バッチ式:途中で生ごみの投入をせずに、コンポスト化の一連の工程を実施し製品を製造する方式です。
- ※2 連続投入式:生ごみを連続して投入する(例えば1日1回もしくは2日に1回)方式で、決められた期間生ごみを投入後、製品用コンポストとして取り分け完熟させます。
- ※3 好気性微生物:酸素を利用して活動に必要な ATP(アデノシン三リン酸:生物エネルギー)を 産出します。
- ※4 通性嫌気性微生物:通常は嫌気性の代謝経路で活動しますが、酸素が存在すると好気性の代 謝経路に変えて ATP を産出します。
- ※5 偏性嫌気性微生物:酸素が無い状態で ATP を産出します。酸素が存在すると体内でスーパーオキシド(有害物質)をつくり自滅したり、解毒酵素を持っていると自滅しないが増殖はできません。

(1) 第1段階:

残飯のように消化・吸収しやすいもの(炭水化物・タンパク質・脂質など)を分解します。分解の対象は人が消化吸収できるものとイメージすると分かりやすいと思います。ここでは細菌や糸状菌(カビ)が活発に活動し、コンポストの温度が上昇します。ご飯類や麺類は1日程度で形が無くなりますが、この段階が水分過多になると悪臭が発生しやすくなります。

ここで代表的な微生物として乳酸菌(ヨーグルト)、酵母菌(ドライイースト)がありますが、現

地の発酵食品を積極的に利用します。日本: 納豆(納豆菌)、麹(カビ)、ぬか床(酵母菌・乳酸菌)等、ネパール・ブータン: マルチャ(酵母菌・カビ・乳酸菌)、インドネシア: テンペ(カビ, 酵母, 細菌)、タペ(糸状菌, 酵母, 細菌、乳酸菌)など

実は発酵食品に関係する微生物を使用することには理由があります。日本の有機農家のなかには、自分でこだわりのコンポストをつくることがあり、その時、発酵食品に関係する微生物を利用していることがよくあります。できあがったコンポストを施肥することで、農作物に対し何らかのメリットを感じているようです。

また、第一段階では微生物は活発に活動するので、直ぐに酸素が消費され嫌気性の状態になり、有機物を分解する過程で様々な物質を代謝物として放出します。この代謝物が臭いの素になるのですが、発酵食品に関係する微生物であれば、その臭いは馴染みのある臭いなので、悪臭として捉えにくくなります。



図4-2 発酵食品を利用するとコンポスト化の過程で発酵食品の香りがすることがある

(2) 第2段階:

植物の繊維(セルロースはヘミセルロースで保護されている)を分解します。ここまで分解が進むとほとんどの場合、悪臭は発生しません。ここで働く菌は<u>森のなか</u>から集めることができ、それは分解している落ち葉(腐葉土)の下の白い菌です。

自然の力で、繊維たっぷりの落ち葉を分解していることからも合点がいきます。特徴的な菌は 放線菌であり、カビや細菌も働いて繊維の分解が進みます**6。森の中に入ると土っぽいにおいが しますが、これは放線菌がつくっています。放線菌という言葉は聞き慣れないですが、そう考え ると身近な菌です。

※6 第一段階で温度が65℃以上の高温になると繊維は蒸されて軟らかくなり分解しやすくなります。ここで好気性の放線菌がヘミセルロースを分解することで、セルロースがむき出しになります。酸素が多量に消費され嫌気状態になりますが、そこに嫌気性のセルロース分解菌(細

菌)が活躍します。その他、セルロースを分解する種類のカビも活動します。

(3) 第3段階:

植物のリグニンを分解します。リグニンは植物の硬い成分で、木が硬くてしっかりしているのはリグニンが多いからです。すなわち、分解に時間がかかるということになります。ここでの特徴的な菌は担子菌(キノコ)なので、森のなかから集めることができます。

きのこは木に生えていることが多いです。そして、その木も脆くなっています。きのこがリグニンを分解している証拠です。



写真 4-1 放線菌(白い菌)の採取 (同時に糸状菌なども採取できる)



写真 4-2 担子菌(キノコ)の採取

食用に適さないキノコも使うことができますか?

里山では昔から森の腐葉土を集め。コンポストとして畑にすき込み農業利用してきました。この時、当然のこととして腐葉土にはキノコも含まれます。腐葉土やバークコンポストを施肥した畑からはキノコが生えていることもよく見かけます。また、自然の恵みとして野生の果実(山葡萄・アケビ・野いちご等)を採取し食べていますが、それら果樹の根元にキノコが生えている様子を見ることができます。

自然界に生息するキノコのほとんどは食用に適していませんが、直接食べるのではなく有機 物の分解に利用することについては経験的にも利用できると判断することができます。

ただし、食用に適さないキノコを使用することに抵抗感を覚える場合は、特にキノコを直接使用しなくとも差支えはありません。効率は落ちますが、先に述べた通り腐葉土にも含まれています。

4.1.2 コンポスト化には多様な微生物が関係

先に説明したように、1 種類の微生物だけではコンポスト化は完結しません。コンポスト化の進行(ステージ)に応じて、細菌、糸状菌、放線菌、担子菌の中から優先種の変遷が生じます。そのため、必要な微生物を前もって取り揃えておくことで、この優占種の変遷をスムーズにします。すなわち、「自然発生的な成り行きで必要な微生物の増殖を期待するのではなく、目的を持って微生物を整える。」との考え方です。

また、同種の微生物のカテゴリー内であっても、できるだけ多くの種類を取り揃える方が良いと考えています。例えばヨーグルトであればスーパーで購入することが多いですが、メーカーを変えて多くの種類のヨーグルトを用意します。特に森の腐葉土からは放線菌を採取することを目的としていますが、同時に糸状菌、乳酸菌、酵母菌、担子菌など多種多様な微生物を含んでいます。

是非、森から腐葉土を採取しましょう。

4.1.3 コンポスト化には土着菌

コンポスト化に必要な微生物は身近なところから採取することができるので、特別な微生物を使用する必要はありません。実はこれも日本の有機農家の考え方を取り入れています。畑など土壌を利用した植物の栽培には必ず微生物が関係してきます。コンポストも当然大量の微生物を含んでいますが、その微生物が地域の微生物であれば、土地との相性が良く植物の成長に寄与するとの考え方で、「土着菌」と呼ばれています。

この「土着菌」は有機農家の経験・実践から生まれた考え方ですので、コンポスト化には取り 入れるべきであると考えました。また、特別な微生物を使用しないので、いつでもどこでも安価・ 簡単に入手することができます。

4.1.4 発酵食品を入手できないとき

発酵食品を買ってまでしてコンポスト化に使いたくない。もしくは、国・地域には発酵食品の 入手が困難な場合もよくあります。このときの対処法とし3つの方法があります。

(1) 森の腐葉土

森の腐葉土には多種多様の微生物を含んでいるので、それを採取できるのであれば、発酵食品の微生物と置き換えることができます。しかし、先に説明しましたが、有機農家は発酵食品を上

手に利用してこだわりのコンポストを作っています。できるだけ発酵食品を利用したいものです。

(2) 空気中に浮遊する乳酸菌と酵母菌

「猿酒」というものを知っていますか。これは猿が木の洞や岩のくぼみなどに溜め込んだ野生の果実(アケビ・山葡萄・野イチゴ等)が自然に発酵して酒になったものです。猿が野生の果実を溜め込む真偽は別として、野生の果実が自然発酵して酒がでることを示しています。果実の表皮に付着している空気中の酵母菌が関係しており、葡萄を皮ごと潰すことでワインをつくることができることと同じです。

次に「浅漬け」を知っていますか。白菜などに塩を振り一晩おくと漬物ができます。この時の酸味は乳酸の酸味です。すなわち、白菜に付着している空気中の乳酸菌が関係しています。

また、「花酵母」を知っていますか。これは日本酒づくりに使用する酵母菌の一種で、花の蜜から酵母菌を分離したものです。空気中の酵母菌が蜜に付着したものです。さらに、蜜には乳酸菌も付着しています。

4.1.5 微生物を培養して発酵床(シードコンポスト)をつくる

微生物にとって生ごみは美味しい餌であり、様々な微生物が一斉に利用しようとします。すな わち、微生物の間で競争が起きていると考えることができます。コンポスト化は発酵であり、私 たち人間にとって有利な微生物の活動が優先となるように環境を整えることが肝要です。

そのために、発酵に適した微生物を大量に用意し生ごみと混合する方法を取ります。できあがったコンポストには、培養した微生物がたっぷりと含まれており、これを発酵床(シードコンポスト)として再利用することができます。この考え方をリターンコンポストと呼びますが、詳しくは別の章で述べます。リターンコンポストの考え方を取り入れることで、微生物の培養は基本的にコンポスト化をスタートさせる初期の段階でだけで済みます。

微生物の培養方法については、コンポスト化の基本理論を理解していただいた後の実践編で詳 しく述べます。なお、微生物の培養方法については実験室等で実施する純粋培養ではなく、コン ポスト化するうえで支障のない現場で簡便に実施できる方法を採用しました。

4.2 酸素について

コンポスト化は基本的には、撹拌・通気することで適宜酸素を供給し、好気状態を促しながら有機物を微生物が分解する好気発酵です。酸素の無い嫌気発酵であってもコンポスト化は可能ですが、できたコンポストの使い方としては、二次処理として土や腐葉土などと混合して好気発酵してから使用したり、二次処理せずに直接施肥する場合は土中で好気発酵させることになります。

好気発酵をすることで様々な利点があります。

4.2.1 悪臭が発生するリスクを減らすことができる

コンポスト化時の好気性(酸素が有る状態)と嫌気性(酸素が無い状態)の違いを簡単に図で示します。

好気性・嫌気性のどちらであってもコンポストをつくることは可能です。しかし、嫌気性の場合には腐敗するというリスクが潜んでいます。特に腐敗しやすい生ごみのような易分解性有機物は、酸素の供給を上手にコントロールしないと、すぐに悪臭が発生ます。習慣的にコンポスト化している場合、コンポスト化することを「腐らせる」と表現することがよくあります。生ごみを堆積して放置しているとすぐに腐敗が始まり、悪臭を発しながらコンポストになっているということです。

好気性と嫌気性の違い

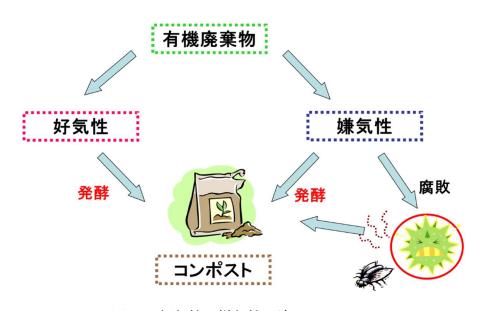


図 4-3 好気性と嫌気性の違い

また、好気性と嫌気性における有機物の分解について、臭いの視点から単純化した図を示します。特に悪臭が発生しやすい生ごみをイメージしています。

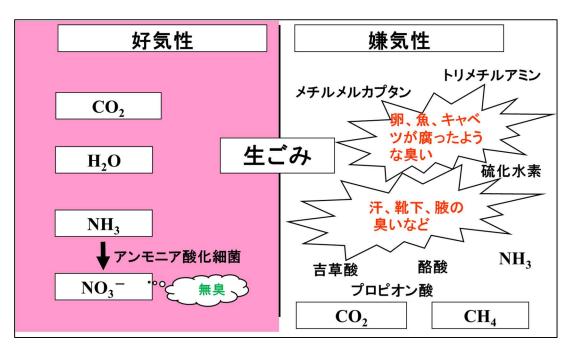


図 4-4 好気性と嫌気性の違いによる臭気発生の違い

悪臭成分であるアンモニア (NH_3) は好気性・嫌気性の両方で発生しますが、好気性の場合はアンモニア酸化細菌がすぐに、アンモニアの硝化 $(NH4^+ \to NO3^-)$ を進めてくれるので、少しアンモニアの臭いがする程度に収まります。なお、アンモニア酸化細菌はどこにでもいる菌で、特に畑には沢山生息しています。一方、嫌気性の場合はアンモニアが蓄積するので、濃度が高くなり刺激臭となります。その他、様々な悪臭成分が発生することになります。身近な悪臭である靴の中や靴下の臭い成分は吉草酸です。「靴は空気の通りが悪く嫌気性になっているから臭い。」と考えると合点がいくと思います。

4.2.2 コンポスト化の期間を短縮することができる

ここでは、微生物が代謝利用しやすいグルコース(ブドウ糖)の分解について考えます。微生物 が関係するので生化学反応式で表します。

好気性: $C_6H_{12}O_6+O_2+H_2O$ → $6CO_2+12H_2O+38A$ T P

嫌気性: $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 2ATP$

ATP(アデノシン三リン酸)が生成しています。これは簡単に言えば「生物のエネルギー」と考えてください。人も含め全ての生物は活動するために体内でATPをつくる必要があります。

好気性と嫌気性の条件が違うことで、驚くことに ATP の生成量が全く違っており、同じブドウ糖を利用しても好気性は嫌気性の 19 倍の ATP を生成しています。ATP は微生物の活動に関係するので、好気性の状態を促すことで微生物の活動は活発になり、コンポスト化の期間が短くなります。

4.2.3 衛生的なコンポストを製造することができる

コンポスト化の過程で必ず温度を 65°C以上で 48 時間以上または、60°C以上連続7日間以上の高温期を設けなければなりません。コンポスト化の材料として様々な有機廃棄物を対象としており、不衛生な微生物や雑草種子が混入することがあり、高温期を設けることで、それらを死滅または不活化させます。特に、コンポストセンターで実施する場合は大量の有機廃棄物を受け入れるため、全ての有機廃棄物を管理することはできません。そのため、不衛生な微生物や雑草種子の混入を前提とした対処が必要です。温度と雑草種子の発芽率及び不衛生な菌の死滅の関係を表に示します。

ただし、家庭用のコンポスト容器を使用してコンポスト化する場合は、コンポストの量が少なく蓄熱効果が期待できないので温度は高くなりません。経験的には50℃程度までしか温度は上がらないようです。しかし、家庭で実施する場合は有機廃棄物の管理を自分ですることは可能ですから、特に60℃以上の高温期を設ける必要はないと考えています。

表 4-1 雑草種子の放置温度と発芽率

| 種類 | 埋設温度 50℃未満 | 埋設温度 60°C2 日間 | 対照(無処理) |
|--------|------------|---------------|---------|
| | 発芽率(%) | 発芽率(%) | 発芽率(%) |
| メヒシバ | 96 | 0 | 7 |
| ノビエ | 72 | 0 | 87 |
| カヤツリグサ | 56 | 0 | 30 |
| シロザ | 26 | 0 | 16 |
| オオイヌタデ | 8 | 0 | 53 |
| スベリヒユ | 85 | 0 | 91 |
| イヌビユ | 68 | 0 | 70 |
| ユキノグサ | 7 | 0 | 51 |
| クワクサ | 26 | 0 | 19 |

| 毛 粧 | 死 滅 条 件 | |
|-------------|---------|-------|
| 種類 | 温度(°C) | 時間(分) |
| 病原菌 | | |
| チフス菌 | 55~60 | 30 |
| ルッテンニ書 | 56 | 60 |
| サルモネラ菌 | 60 | 15 |
| 上 明書 | 55 | 15~20 |
| 大腸菌 | 60 | 15~20 |
| 赤痢菌 | 55 | 60 |
| ブドウ球菌 | 50 | 10 |
| 連鎖球菌 | 54 | 10 |
| 寄生虫 | | |
| 条虫(サナダムシ) | 55~60 | 5 |
| アメリカ鉤虫 | 45 | 50 |
| 回虫の卵 | 60 | 15~20 |

表 4-2 病原菌・寄生虫の死滅温度と時間

また、病原菌の死滅温度と時間の関係をイメージしやすいように、1980年に世界銀行が報告した資料を基に簡略化したグラフを示します。温度を高めることで不衛生な微生物が短時間で死滅

する様子が一目瞭然です。ただし、これは温度が低いと不衛生な微生物がコンポスト中にまん延することを表しているのではなく、死滅せずに残ってしまうことを表しています。

このように衛生的なコンポストを製造するためには、高温期を設ける必要があります。このように温度を高めるためには微生物の活動量を増やすこと、すなわち ATP の生成量を多くします。ATP は体内でエネルギーとして消費されると熱に変換され、これを蓄熱することで温度が高まります。

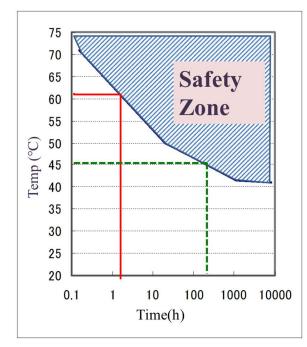


図 4-5 病原菌の死滅温度と時間の関係

4.2.4 温度が高くなることで、さらにコンポスト化の期間を短縮することができる

微生物、特にコンポスト化に有効な菌類は、生ご みなどの有機廃棄物をどのように分解しているの でしょうか。イメージ的には「ムシャムシャ」と食 べる様子を思い浮かべると思いますが、それは間違 いです。原生動物のアメーバーやゾウリムシになれ ば、有機物を包み込んで体内で消化吸収することは ありますが、菌類に口はありませんし、体内で消化 吸収することもありません。



写真 4-3 コンポスト化の温度管理

実は菌類は体内でつくった酵素を体外に放出し、酵素が有機物と反応することで低分子化します。そして、菌類はこの低分子化した有機物を体内に吸収するのです。私たち人間の体では、小腸で酵素を分泌して有機物をアミノ酸などに低分子化して吸収していることを、菌類は体の外で同じようにしているとイメージすると分かりやすいと思います。

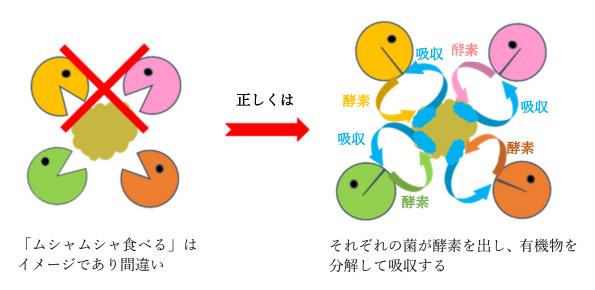


図 4-6 菌は酵素を利用して有機物を溶かす

次に、酵素が活動する温度と分解速度との関係について述べます。

化学反応の場合、温度が 10° C上昇すると反応速度は 2 倍になるというアレニウスの法則があります。生化学反応の一種である酵素反応も同様に、温度が上昇すると反応速度は速まります。 コンポスト化の場合は、温度が 10° C上昇すると有機物の分解速度は $1.5\sim1.8$ 倍に速まるといわれています。

酵素とは生物の細胞の中でつくられる触媒作用のあるタンパク質です。タンパク質となると高い温度になると熱変性を起こし、触媒作用がなくなってしまう(失活)と心配する方もいます。確かに温度が40°C以上になると反応が遅くなったり失活したりする酵素もありますが、酵素の種類によって耐熱性が異なります。

4.2.5 温度が高くなることで、無排水化を図ることができる

特に生ごみのコンポスト化に取り組む場合、汚水が発生するのでコンポストセンターの設計段階から排水処理設備を計画することがあります。しかし、良好な発酵をすることでコンポストから汚水が発生することはありません。すなわち、コンポストセンターには基本的に排水処理設備は必要ありません。生ごみは80%以上の水分を含んでおり、新鮮なうちは水が滴ることはありませんが、時間の経過とともに生物体(生ごみ)の細胞膜・細胞壁が微生物により分解され、細胞水が滲み出てきます。また、生ごみの炭水化物・脂質・タンパク質などの成分の構成元素である水素からは、微生物が利用することで水が生成します。そして、これらが水分となり、水分過多の場合は汚水として流れます。生ごみが腐るという現象は、この細胞水の滲みと水の生成による水分過多が原因で嫌気状態に陥ることです。

生ごみの水分は80%以上であり、コンポスト化するときは大量の水が細胞水または付着水として持ち込まれたり、微生物の反応で水が生成したりしますが、良好な発酵により温度が高まることで水は蒸発します。毎日生ごみをシードコンポストや発酵中のコンポストなどに投入する連続式のコンポスト化技術では、水の蒸発量と生ごみとして持ち込まれる水の量+微生物の分解により生成する水の量とのバランスにより、適正な水分量(40~60%)となるように生ごみの投入量を調整します。バッチ式のコンポスト化技術の場合も同様に混合物が適正な水分量になるように生ごみの投入量を調整します。共に時間の経過とともに温度が上昇し、水の蒸発が盛んになるため水分不足となり、水を添加することになります。いずれの技術であっても良好な発酵が継続していると汚水は発生しません。

逆に汚水が出るようであれば水分過多のサインであり、そのまま放置していると嫌気状態となり悪臭が発生しアンモニア臭も強くなります。さらにコンポスト化期間も長期化します。水分調整のために乾いた副資材を添加するなどの対処が必要です。また、汚水の発生は、本来コンポストに含まれるべき栄養成分(N・P・K など)が流出してしまうことにもなります。

(1) 細胞が持っている大量の水+微生物が有機物を利用すると水が生成

① 細胞水

水は生ごみの表面に付着しているだけでなく、細胞内にも細胞水として含まれています。微

生物が細胞壁・細胞膜を破ると細胞 水が滲み出てきます。「水の入ったビ ニール袋に穴が開いた」とイメージ すると分かりやすいです。

部胞壁・細胞膜が破れる

図 4-7 細胞内に大量の水が蓄えられているので、細胞壁などが破れると水が出てくる

② 反応水

微生物がグルコース(ブドウ糖)を 代謝利用すると、生物エネルギーで

ある ATP(アデノシン三リン酸)が生成することを反応式を示して説明しました。その時の反応 式を再度示しますのでよく見てください。

$C_6H_{12}O_6+6O_2+6H_2O \rightarrow 6CO_2+12H_2O+38ATP$

反応式の左側の H_2 Oが 6 に対し、右側では 12 になっています。これは、微生物が酸素と水を使用してグルコースを代謝利用する時に、グルコース分子中の 12 個の H が 3 個の O_2 と反応し 6 個の H_2 Oが生成したことを示しています。

このような反応は、生ごみの主成分である炭水化物・脂質・タンパク質に含まれている H についても同様に起こります。すなわち、微生物が有機物を酸素を使用して分解すると水が生成することになります。コンポストの発酵状態を考慮せずに、生ごみを過剰に混合してしまうと、水

分過多が原因となって良好な発酵が進行しなくなり温度が上がりません。すると、水分も蒸気として放散しないので、細胞水と反応水も加わってさらに水分が多くなり、コンポストの底面から汚水として滲み出てきます。この汚水には、本来コンポストの肥料成分となるべき N,P,K なども含まれています。「もったいない」ことです。



写真 4-4 水分過多となり水がにじみ出る

(2) 生ごみの水分は脱水しない方が良い

生ごみの水分が80%以上あるため、コンポスト化に適正な水分量40~60%に調整するために、 生ごみの投入量が制約されます。このため、生ごみを脱水すれば投入量を多くすることができ、 効率的にコンポスト化することも可能ですが、脱水することでデメリットが生じます。そのデメ リットをよく理解したうえで脱水工程の導入可否を検討することをお勧めします。

① 脱水処理システムの設置

当然のことながら、生ごみの脱水処理システムの設置が必要であり、イニシャルコスト、ランニングコスト及び維持管理についての検討が必要です。

② 排水処理システムの設置

生ごみの脱水排水には、生ごみに含まれていた N,P,K などの栄養成分を含み、この排水が河川などに流れ込むと BOD が高くなるなどの有機汚濁の原因になります。この対策として排水処理システムの設置の検討(イニシャルコスト・ランニングコスト・維持管理)が必要です。

③ 土壤病原抑止力

コンポストを使用することで期待される効果として、農作物の病気発生が抑制されることがあげられます。品質の良い食品リサイクル堆肥を製造するための試験が実施されました。その試験では堆肥の製造方法の違いで、土壌病原抑止力として土壌病原菌(主として糸状菌)の増殖をどの程度抑制できる働きがあるかどうかが評価されました。そのなかで、野菜残渣を脱水処理したものはしないものと比較して、土壌病原抑止力が低下する傾向がみられました。

4.3 好気発酵の注意点

好気発酵するために酸素を供給しますが注意点があります。

4.3.1 空気の供給量には適量がある

特に生ごみのような易分解性有機物を分解するコンポスト化の第1段階では、微生物は多量の酸素を消費するので、部分的には嫌気性になります。これを解消しようとして大量にエアレーションをすると、空気とともに放熱してしまいコンポストの温度が上がらなくなります。また、空気を取り込むために撹拌回数を多くしすぎても同様です。温度の上昇(65°C以上)とその維持ができるように、エアレーションの量と時間(連続または間歇)をコントロールしなければなりません。

また、牛ふんを例にした堆積発酵時の断面について、エアレーションの有無による違いを下記

の写真に示します。



写真 4-5 堆積発酵 (強制通気無し・撹拌無し)



写真 4-6 堆積発酵 (強制通気有り・撹拌無し)

白くなっているのは好気性の放線菌の増殖を示しており、コンポスト化の進行の様子がよく分かります。左の写真は堆積しただけで強制通気や撹拌が無い場合は、表面から 30cm 程度の部分に放線菌が増殖している様子が見て取れます。これは、堆積しただけであれば表面から 30cm 程度しか空気が侵入しないことを示しています。一方、右の写真の様に強制通気することで全面に放線菌が増殖しています。空気の供給の有無でコンポスト化の進行度合いが全く異なっています。

しかし、強制通気しても撹拌しないことで問題が生じています。両側の壁付近では放線菌の増殖が見られません。壁が障害となって空気が行き渡っていないからです。空気は圧力損失が低い部分に流れるので、必ず空気の通り道ができてしまいます。強制通気だけでは均一なコンポストにはなりません。

酸素の供給方法として、撹拌と強制通気の2方法があります。エアレーションは効率よく空気を供給することができますが、均質なコンポスト化のためにはよく撹拌することが必要です。

なお、撹拌だけで空気の供給をする場合も含め、撹拌頻度は撹拌作業の手間も考慮して、1~2 日に1回の場合が多いようです。

4.3.2 水分について

コンポスト化には最適な水分範囲があり、一般的には 40~60%です。原料の空隙に多くの水が入り込んでしまうと、好気的雰囲気から嫌気的雰囲気にすぐに変わってしまいます。原料の粒子径が小さい汚泥の場合では、水分を 50%以下に調整しないと好気性酵が行われないことがあります。これに副資材としてもみ殻、おがくず、稲わらなどの形状が大きい有機物を添加すると通気

性が改善され、同じ汚泥であっても水分が 60%を超えても良好な好気発酵を保つことも可能です。写真は牛ふんに副資材として稲わらを混合しました。牛 ふんは水分が多く緻密で空隙率が少ないため、稲わらの混合は水分調整と空隙率の確保を兼ねています。混合物は好気発酵となり微生物が活発に活動したことで温度も高く上昇しています。

A A P O

写真 4-7 牛ふんに稲わらを添加し、 水分調整と空隙率を確保

ちなみに空気中の酸素濃度は21%に対し、水中の

溶存酸素は約 8ppm(0.0008%)(25℃)となります。このように空隙が空気から水に置き換わると極端に酸素量が少なくなってしまいます。水分過多になると嫌気状態になり悪臭発生の原因になります。

(注:溶存酸素の単位は正確には mg/l ですが、空気中の酸素濃度と比較しやすくするため慣用的に用いられている ppm を使用しました)

水分が30%以下となる乾燥状態では微生物の活動が抑制され、発酵は進みません。

コンポストを保管する場合は微生物の活動を抑える必要があるので、水分30%以下の乾燥状態

堆肥化には最適な水分範囲がある 水分範囲は40~60%



図 4-8 コンポスト化の最適な水分範囲

とします。長期間の乾燥状態となった場合はダメージを受ける微生物もありますが、多くの微生物は乾燥に耐えることができる形に変わり休眠状態に入ります。パンづくりに使用するドライイーストや味噌づくりに使用するこうじ菌をイメージすると分かりやすいと思います。

4.3.3 コンポスト化をスムーズに進めるための水分チェック

コンポスト化をスムーズに進めるために、重要事項を3点に絞って述べてきましたが、コンポスト化の一番の優先事項は腐敗による悪臭発生を抑え込むことです。それでないと廃棄物減量化・資源化として取り組むコンポストセンターが迷惑施設となってしまいます。では、腐敗させないためには何が必要でしょうか。

必要な微生物を調整することで、コンポスト化の進行に合わせ、その時々に必要な微生物が出現し優先種となるように促す工夫をしていますが、環境条件が整わないとその期待度は低くなります。強制通気や撹拌をする、空隙率を確保したとしても、水分過多であると酸素供給は極端に阻害されてしまいます。

すなわち、腐敗させず、良好な発酵を促し維持するためには、水分チェックをしっかりと行い、水分過多にならないようにコントロールすることが一番のポイントであるといえます。毎日の水分チェックはとても重要であり、先に述べた通り腐敗の抑制だけでなく、温度上昇、コンポスト化期間の短縮などにも繋がっています。

(1) 水分チェックの方法

コンポストセンターで実施している発酵の形状として、堆積型、ウィンドロウ型など様々な方法がありますが、規模が大きくなればなるほど水分の偏りが出てきます。そのため、日常管理の水分チェックは、「水分が適正範囲内(40~60%)であるか」という大まかな情報でもよいので、現場で素早く手軽に実施できなければなりません。

その方法として現場でよく採用されているのが、「コンポストを手で握りしめる方法」です。

- i 水分が少ない(水分 40%以下): コンポストを手で握りしめ、手を開いたら塊になっていない状態
- ii 水分が多い(水分 60%以上):コンポストを手で握りしめ、指の間から水が滲む状態
- iii 水分が適正(水分 40~60%): コンポストを手で握りしめ、指の間から水が滲まないで、 手を開いたときに塊になっている状態(ただし、原料の種類や形状によっては水分が適

正であっても塊になりにくい場合があります。このときは手のひらが水でしっとりとなっていれば適正であると判断します)

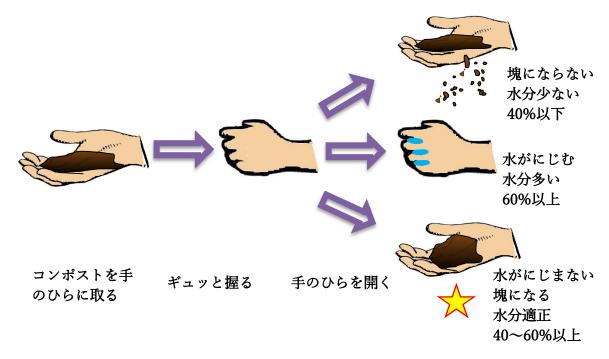


図 4-9 簡易な水分チェックの方法

(2) 水分チェックの注意点

① 加熱による水分測定

分析センターなどでコンポストを 105~110℃に加熱して完全に水分を蒸発させる方法は、水分含有量を正確に知ることができます。しかし、コンポスト化の現場で水分チェックから得たい情報は、酸素がスムーズに供給することができるかどうかの情報です。すなわち、表面に付着している水分と空隙に入り込んでいる水分です。コンポストの原料が水を吸収しにくかったり加水直後であったりすると、コンポストの表面に多くの水分が付着したままで、空隙に多くの水が入り込むことで水分過多の状態に陥ることもあります。

例として、もみ殻を主とするコンポスト化の水分調整について考えてみます。(なお、もみ殻と米ぬかの水分は加熱式による水分測定データです)

もみ殻 30kg と米ぬか 10kg の割合で混合し水分 50%程度となるように水を Xkg 加えます。この時、もみ殻の水分 9%、米ぬかの水分 12%として、必要な水の添加量 Xkg は次式の計算で求めることができます。

 $(30 \times 0.09 + 10 \times 0.12 + X) / (30 + 10 + X) \times 100 = 50$ X = 32.2

このようにして計算で求めた水 32.2kg を加えてしまうと、混合物から水が流れ出てきます。 次にもみ殻の代わりにおが屑を使用した場合を考えます。全く同じ条件で実施しますが混合物 からは水が滴りません。この原因は何処にあるのでしょうか。それはもみ殻の吸水率の悪さにあ ります。おがくずの吸水率は約 250%であるのに対し、もみ殻の吸水率は約 74%でしかありませ ん。計算で求めた水の添加量は参考値と考え、実際には混合物を手で握りしめ、細かな水分チェ ックを行いながら水を添加することが必要です。

微生物によって生ごみの細胞水や反応水が徐々に滲み出てきますが、初期に適切な水分に調整することで温度の立ち上がりが速く、水は蒸発し、適切な水分範囲に保たれます。また、過剰な水分蒸発により水を加えることもあります。

② コンポスト水分計

コンポスト水分計は、コンポストの表面や空隙に入り込んでいる水分を電気抵抗値として測 定し水分に換算します。コンポストの水分量が同じであっても、水分に含まれるイオン状物質の 濃度により値が異なるので、いつもと違うコンポスト原料を使用する場合などは注意します。

参考資料:

- ・ 髙倉弘二:海外技術協力を通じた高倉式コンポストの技術移転に関する研究, 九州工業大学大学院生命体工学研究科博士論文, 2016 年 5 月
- ・ 藤原俊六郎監修,農文協編: 家庭でつくる生ごみ堆肥,農山漁村文化協会 1999 年
- ・ 松崎敏英: 土と堆肥と有機物,家の光協会 1992 年
- ・ デボラ・L・マーチン,グレイス・ガーシャニー,岩田進午監訳,佐原みどり訳: 家庭でできる堆肥づくり百科,家の光協会 2004 年
- ・ 金沢晋二郎: コンポスト腐熟過程における有機物の変化ならびにその評価, 水質汚濁研究 vol9No. 5,1986 年
- ・ 藤原俊六郎: 堆肥のつくり方・使い方, (社)農山漁村文化協会 2003 年
- · 公益財団法人 地球環境戦略研究機関: Composting for Waste Reduction INFORMATIONKIT, 2010年
- 南房総市:III堆肥の製造手法

- ・ 一般社団法人 日本土壌協会: 高品質肥料認証制度推進事業報告書(食品リサイクル堆肥 の品質向上と付加価値向上),平成 28 年 3 月
- ・ 一般社団法人 日本土壌協会:品質の良い食品リサイクル堆肥製造の手引き(概要),平成 27年3月
- ・ 西尾道徳:土壌微生物の基礎知識,社団法人 農山漁村文化協会